

ESTUDIO^(*) DE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO DEL EUCALIPTUS GLOBULUS EN GALICIA

Y SU RELACION CON LAS CARACTERISTICAS DE LA ESTACION Y MORFOLOGICAS DEL PROPIO ARBOL

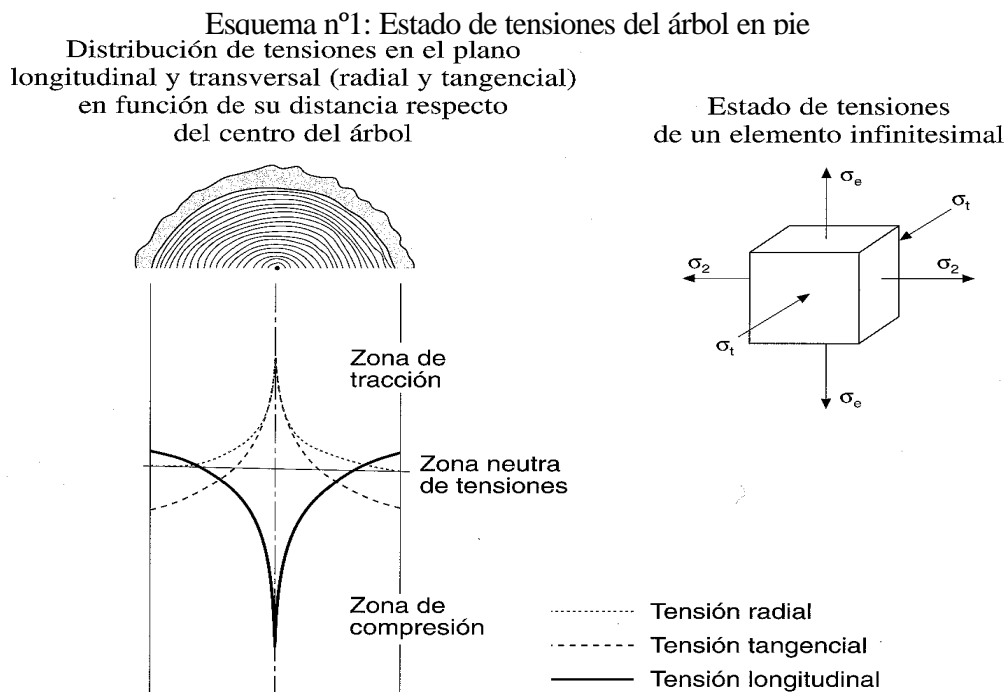
(*) Estudio realizado con financiación de la Unión Europea, programa "Materias primas renovables" proyecto nºMAZB-CT91-0038 (RZJE).

Santiago Vignote Peña (1); Jean Gerard (2); Isabel Molinero Martínez (1); Modesto-Rafael Díez Barra (3)

(1) Universidad Politécnica de Madrid (2) Cirad-Forêt, Montpellier, Francia; (3) Instituto de Investigaciones Agrarias, Madrid

0.- INTRODUCCION

Las tensiones de crecimiento son las producidas por el crecimiento de las células recién producidas por el cambium. Las células, en su crecimiento, tienden a expandirse lateralmente y a contraerse longitudinalmente, pero las células formadas en los años anteriores se lo impiden, con lo que se genera un estado de tensiones que, según las direcciones clásicas de la madera, son la representada en el esquema nº1:



La magnitud de las tensiones es muy diferente según la dirección que se considere. Así, en dirección axial es alrededor de diez veces más grande que en las direcciones transversales y dentro de estas últimas, es mayor en dirección tangencial que en dirección radial.

La magnitud de las tensiones también varía enormemente con la especie, con los individuos de esa especie, y dentro del mismo individuo, con la altura del árbol, con la distancia al centro de la sección del árbol...

Así, existen especies, tales como el eucalipto, el haya o el chopo, en los que la magnitud de las tensiones es generalmente superior a las de otros árboles. Incluso, está comprobado que la magnitud de las tensiones en el haya que crece en zonas de montaña suele ser mayor que las que crecen en llanura.

Foto n°1: Fendas de cuadratura en una testa de eucalipto recién cortado



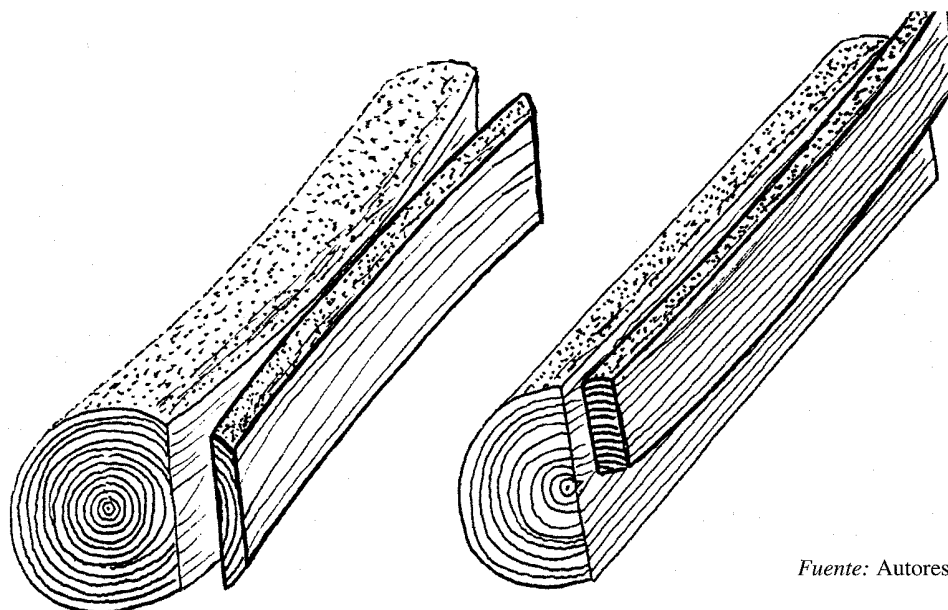
Las tensiones de crecimiento, cuando su magnitud es muy elevada (y sobre todo su gradiente a lo largo de la sección del árbol) pueden causar numerosos defectos en la madera, tales como médula blanda o débil, fendas de cuadratura, acebolladuras, alabeos de cara o canto en los aserrados, que hacen difícilmente aprovechable estos árboles en la industria mecánica de la madera.

En la foto se hace patente el típico defecto de cuadratura, producido en el momento del apeo, por causa de la liberación de tensiones producida en la zona de corte.

En el esquema nº2 se indican las deformaciones que se pueden producir en los aserrados de maderas con gradientes de tensiones de crecimiento muy elevados. Nótese la diferencia entre las deformaciones producidas en cortes tangenciales (alabeos de cara) o en cortes radiales (alabeos de canto).

Esquema nº2: Deformaciones producidas por las tensiones de crecimiento en los diferentes tipos de aserrado

EFFECTOS DE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO,
DURANTE EL DESPIECE DE LA MADERA



Fuente: Autores.

Este defecto, es típico en los árboles de eucalipto que se desarrollan en Galicia, hasta el punto, de que a pesar de la buena conformación de los árboles, escasos nudos, buena presencia y otras características, su transformación por la industria mecánica de la madera es casi anecdótica.

El estudio busca obtener los siguientes objetivos:

- Analizar las características de las tensiones de crecimiento del eucalipto globulus en Galicia.
- La relación existente entre los valores de la tensión de crecimiento perimetral del árbol con los valores de estación y la selvicultura empleada, para en función de ello proponer los trabajos selviculturales más idóneos para el aprovechamiento mecánico de la madera de Eucalipto.
- La relación existente entre los valores de la tensión de crecimiento periférica del árbol con los valores dendrométricos del propio árbol, de forma que se pueda hacer patente de forma visual la calidad de dicho árbol, en relación con las tensiones de crecimiento, para su posible transformación en la industria mecánica de la madera.

1.- CARACTERISTICAS DE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO EN EL EUCALIPTO GLOBULUS EN GALICIA

La magnitud de las tensiones de crecimiento se ha analizado desde los siguientes aspectos:

- Valor medio de las tensiones periféricas en el árbol
- Variación de los valores de las tensiones periféricas en dicho árbol
- Variación de las tensiones de crecimiento a lo largo de la sección y de la altura de dicho árbol

Los dos primeros valores se obtienen, para cada árbol, de forma aproximada, analizando las deformaciones longitudinales periféricas, en las direcciones norte, sur, este y oeste, tomadas a una altura de entre 1,2 a 1,3 m, por medio de un extensómetro de precisión, desarrollado por el CIRAD FOREST.

Se remarca, de forma aproximada, porque, si bien, las deformaciones están ligadas a las tensiones, también lo están a la propia resistencia de la madera. Como la variabilidad del módulo de elasticidad es muy elevada en el eucalipto (dentro de un mismo árbol, la variabilidad del módulo de elasticidad puede llegar a un 300%, como expresarán otros colaboradores del proyecto)

En el anexo nº1 se describe el aparato utilizado y el procedimiento operativo para evaluar las tensiones de crecimiento.

1.1.- Valor medio de las tensiones periféricas en el árbol

Se han estudiado un total de 160 árboles habiéndose obtenido una variación de deformaciones entre 25 y 299,5 siendo la media 107,5 μ y la desviación típica de 53,3.

La distribución de la muestra, realizando el test de "Kolmogorov" y el "Chi cuadrado" (anexo nº2), obteniendo en ambos casos una significancia alta con la curva de distribución normal.

1.2.- Variación de las tensiones periféricas en un árbol.

Para conocer la variación de las tensiones perimetrales en una determinada sección del árbol, a los árboles evaluados se les ha medido las tensiones periféricas del árbol en las direcciones N; S; E; y W.

Los valores medios obtenidos son los siguientes:

Tabla nº1: Valores medios de las tensiones perimetrales según las diferentes direcciones cardinales

	Norte	Sur	Este	Oeste
Media	100,5	114,7	94,9	120,1
Desviación típica	63,2	71,4	55,4	77,0

Realizado un análisis de la varianza, ha resultado significativa (anexo 18) la diferencia entre las tensiones de crecimiento en dirección este y oeste, pero no entre las otras direcciones.

La justificación a esta variabilidad se debe encontrar en los efectos dominantes del viento en Galicia, cuya dirección es predominante es Oeste-este en sentido Este. Este viento dominante produce madera de tensión en el lado oeste, que hace aumentar los valores de la deformación en la medida de las tensiones de crecimiento.

1.3.- Variación de las tensiones de crecimiento a lo largo de la sección del árbol

Con respecto a la variación de las tensiones de crecimiento a lo largo de la sección, Boyd (1.950) estableció el siguiente modelo de distribución radial de las deformaciones longitudinales:

$$\epsilon_1 = \epsilon_0 - 0,02555 \cdot (r^{0,075} - r_1^{0,075})$$

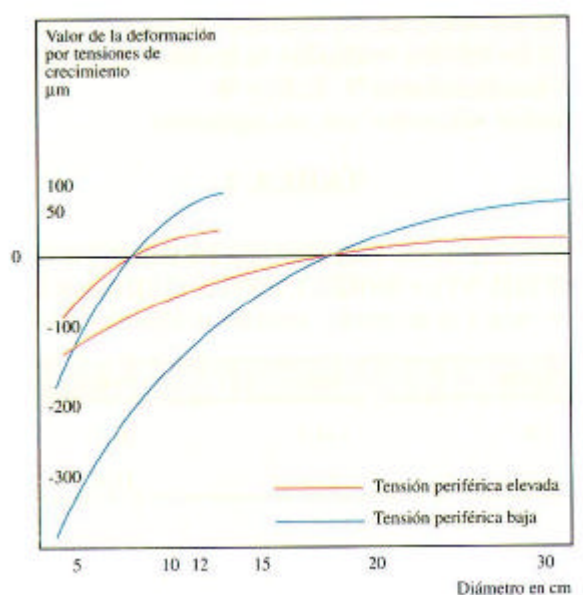
Siendo: ϵ_1 la deformación en un punto situado a la distancia r_1 de la médula
 ϵ_0 la deformación periférica

también se puede expresar de la siguiente forma:

$$\epsilon_1 = \epsilon_0 \cdot (1 + 2Lnr_1/r)$$

En el gráfico nº1, se refleja estas formulas, expresando la variación de tensiones a lo largo de la sección de dos árboles, suponiendo que el diámetro de los árboles varía y se mantiene igual la tensión periférica, o que la tensión periférica varía y se mantiene constante el diámetro de los árboles.

Gráfico nº1: Variación de las tensiones a lo largo de la sección, según varía la tensión periférica o el diámetro.



Analizando el gráfico se puede deducir las siguientes consideraciones:

- A igualdad de tensiones periféricas, el diámetro mayor supone un menor valor del gradiente a lo largo de la sección, pero un mayor valor de las tensiones de compresión internas. Con ello, por una parte disminuyen los defectos de deformación que pueden sufrir los aserrados pero aumenta la posibilidad de médula blanda, al aumentar las tensiones de compresión en esta zona.
- A igualdad de diámetro, el menor valor de la tensión periférica supone menor pendiente de tensiones a lo largo de la sección y menor valor de las tensiones de compresión en la zona de la médula. El resultado es que los defectos de deformaciones y de médula blanda disminuyen en el árbol.

1.4.- Variación de las tensiones de crecimiento a lo largo de la altura del árbol

La variación de las tensiones longitudinales con la altura fue estudiada por Yao (1979) quien encontró que esta variación es en general creciente hasta una altura variable con la especie, entre los 6 y los 9 m, para después decrecer.

2.- RELACIONES ENTRE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO Y LAS CARACTERISTICAS DE ESTACION, SELVICULTURALES Y DEL ARBOL

Los 160 árboles analizados procedían de 6 parcelas situadas en diferentes puntos de Galicia, tomados de forma aleatoria, entre las parcelas destinadas a su aprovechamiento en esas fechas, y que cumpliesen el requisito de que los pies de la masa tuviesen un diámetro medio superior a 25 cm

Los parámetros de las parcelas tomados fueron los siguientes:

- Especies
- Edad de la masa
- Nº de pies por Ha
- Pendiente
- Edad de la masa
- Orientación
- Tratamientos e incidencias selvícolas
- Características de la estación:
 - Características del suelo
 - Características meteorológicas de la zona
 - Viento dominante en la parcela
 - Altitud sobre el nivel del mar

En el anexo nº4 se indican los métodos de medida de todos estos parámetros.

En el anexo nº5 se indican los parámetros característicos de las parcelas analizadas.

En el anexo nº6 se indica en forma de gráficos la frecuencia en tanto por ciento de la distribución de los valores de tensiones de crecimiento en cada parcela. también se indica mediante gráficos las relaciones entre diferentes parámetros de la parcela.

En el anexo nº7 se detallan los análisis de regresión y de varianza de las relaciones entre estos parámetros característicos de la calidad de estación de la parcela y las tensiones de crecimiento, habiéndose obtenido las siguientes conclusiones:

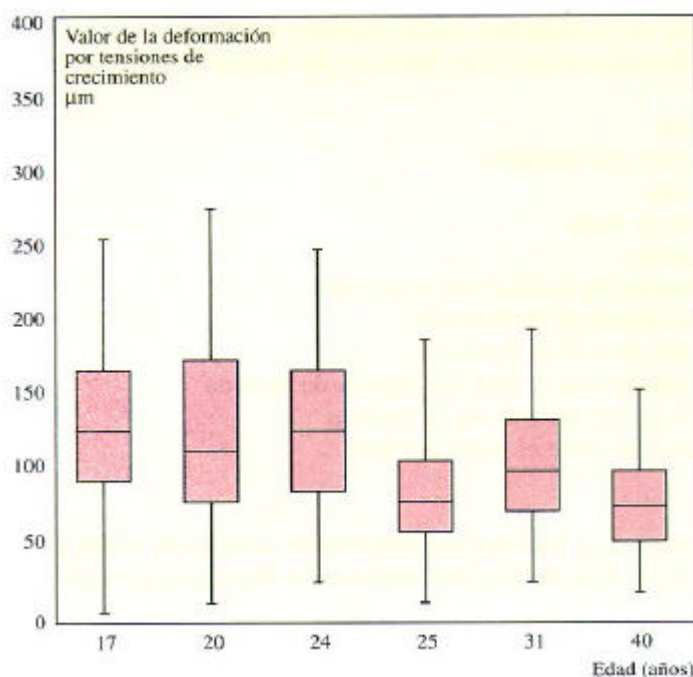
- Existe una alta significancia entre los siguientes parámetros:
 - Edad
 - Esbeltez de los árboles de la parcela
 - Diámetro normal promedio
 - Volumen del fuste

Con respecto a las relaciones entre las tensiones de crecimiento y la edad, el alto valor de R^2 obtenido pone de relevancia la importancia de este parámetro en la justificación de la variabilidad de las tensiones de crecimiento.

En el gráfico nº2 se observa la correlación entre ambas variables

En el gráfico se puede observar como la distribución de tensiones en las tres parcelas mas jóvenes son esencialmente iguales, pero significativamente mayores que las tres parcelas mas maduras.

Gráfico nº2: Relación entre la edad v las tensiones de crecimiento



Estudios paralelos realizados por Gerard (1.995) sobre parcelas de eucalipto en China y Congo, presentan el mismo fenómeno, la distribución de las tensiones de crecimiento en parcelas jóvenes no es significativamente diferente, pero a partir de una determinada edad (edad de madurez) la distribución de tensiones se hacen significativamente diferentes, siendo su valor inferior a los obtenidos en las parcelas jóvenes.

La justificación de esta conclusión está ligada al propio fenómeno que produce las tensiones

de crecimiento: la relajación de la actividad cambial, resultado de la madurez, se traduce en una disminución de las tensiones de crecimiento.

Con respecto a las otras variables, debe indicarse que el diámetro y el volumen del fuste son parámetros dependientes de la edad, por lo que su significancia está ligada a la propia edad.

Con respecto a la esbeltez de los árboles de la parcela, parece que cuanto mayor sea su valor, mayores son las tensiones de crecimiento, por lo que selviculturalmente debe evitarse en la medida de lo posible.

- Existe poca significancia en la variación de las tensiones de crecimiento con la variación de los siguientes parámetros:
 - La altura total del árbol

Este parámetro está ligado en parte a los anteriores, por lo que no es de ninguna relevancia.

- No se ha encontrado significancia de las tensiones de crecimiento con el siguiente parámetro:
 - Crecimiento anual medio del árbol

Este dato resulta en parte contradictorio, pues si tanto el volumen como la edad están correlacionados con las tensiones, pudiera pensarse que también lo estaría su relación, pero el resultado es claro, en el sentido de no estar relacionado con las tensiones de crecimiento.

3.- RELACION ENTRE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO Y LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DEL ARBOL

A cada árbol analizado se le han tomado los siguientes datos referente a su morfología

Diámetro normal según direcciones N-S y E-W, el máximo y el mínimo y su variación dentro de la sección

Altura total

Vigor del árbol (humedad del fuste a 1,3 m)

Espesor de la corteza

Dureza de la madera

Inclinación de la fibra a 1,3 m de la base, y según los ejes cardinales

Ondulación de la fibra a 1,3 m de la base, y según los ejes cardinales

Cambios de orientación del árbol

Peso y volumen de la copa

Tensión producida por la copa en la base del fuste

Deformaciones producidas por las tensiones de crecimiento a 1,3 m de altura, según las direcciones N;S;E y W.

También se han analizado otros parámetros, pero la falta de relaciones, o la dificultad de su medición correcta, aconsejó abandonar su cuantificación. Alguno de estos parámetros son los siguientes: Espesor de la corteza, humedad del fuste del árbol, dureza de la madera...

La evaluación de los diferentes parámetros se describe en el anexo nº8

Los valores medios y sus desviaciones típicas son las siguientes:

Tabla nº4: Valores medios de los parámetros del árbol

	Edad años	Diámetro cm	Tabla. sección %	Altura total m	Nºde reorient.	Volúm. de copa m	Volúm. de fuste m	Crecim. medio anual	Esbeltez fuste (alt/dia)	Esbeltez árbol (Ve/Vf)	Tensiones de crecim. m
Media	24,5	40,3	7,523	33,2	2,0	122,9	1,896	0,0797	85,51	65,54	107,5
Desviac. Típica	6,2	10,8	5,658	5,7	1,65	118,3	1,274	0,0519	16,46	47,9	53,3

Se ha analizado la relación existente entre las características morfológicas del árbol y las tensiones de crecimiento de dos maneras diferentes, la primera estudiando la posible correlación entre los árboles de la misma parcela y la segunda en el total de la muestra. Los estudios de regresión y análisis de varianza realizados se describen en los anexos nº9 y 10 respectivamente. Las conclusiones son las siguientes:

3.1.- Variación de las tensiones dentro de cada parcela

No se ha encontrado una correlación significativa común a todas las parcelas. En las parcelas jóvenes cuanto más grueso y menor altura tenga el árbol, las tensiones son menores, sin embargo en las parcelas adultas el único parámetro significativo es la tableadura de la sección.

3.2.- Variación de las tensiones en el total de las muestras

Se han encontrado las siguientes correlaciones.

- Existe una alta significancia entre los siguientes parámetros:
 - Edad del árbol
 - Diámetro normal promedio
 - Presencia de fibra ondulada
 - Esbeltez del árbol
 - Esbeltez del fuste

Al igual que con el estudio de las parcelas, el parámetro más significativo del árbol es la edad, a mayor edad menor son las tensiones de crecimiento. El pequeño valor del R^2 obtenido en esta relación indica que la edad sólo justifica una muy pequeña proporción de la variabilidad de las tensiones de crecimiento.

Además, se ha obtenido la siguiente interpretación de resultados: los árboles con las

siguientes características tienen una alta probabilidad de que la magnitud de las tensiones de crecimiento sea pequeña:

- Los árboles tienen diámetros grandes
 - Los árboles tienen fibra ondulada
 - La proporción de copa es elevada
 - El fuste es cónico
- Existe poca significancia en la variación de las tensiones de crecimiento con la variación de los siguientes parámetros:
- Tableadura de la sección del fuste
 - Presencia de fibra inclinada
 - Tensiones originadas por la inclinación del árbol
- No se ha encontrado significancia de las tensiones de crecimiento con los siguientes parámetros:
- N° de cambios de orientación del árbol
 - Volumen de la copa
 - Altura del árbol

CONCLUSIONES

Con relación a los objetivos planteados el estudio ha determinado las siguientes conclusiones:

- Relaciones de las tensiones con la calidad de la estación y la selvicultura empleada:

El aumento del turno de corta, a edades superiores a los 25 años, es una medida selvícola que producirá un doble efecto en los problemas que produce las tensiones de crecimiento en la madera de eucalipto, destinada a su transformación por la industria mecánica de la madera:

- Por una parte, las tensiones de crecimiento periféricas se hacen menores, con lo que de forma directa disminuyen los defectos que puedan producir estas.
- Por otra parte, a medida que aumenta el turno, aumentan los diámetros del árbol y con ello, disminuye el gradiente de tensiones a lo largo de la sección del árbol. Por tanto, de forma indirecta, disminuirán los defectos de deformaciones que el gradiente produce. La probabilidad de que se produzcan defectos de médula blanda será mayor.

Otras medidas selvícolas, tales como aumentar el espaciamiento, también puede ayudar, aunque en menor medida, a limitar los defectos típicos de las tensiones, directamente porque disminuirá la relación altura-diámetro e indirectamente, porque a la misma edad, los árboles serán mas gruesos.

- Identificación visual de los árboles con tensiones de crecimiento elevadas.

No se ha encontrado un elemento morfológico claro del árbol que permita prever los valores de sus tensiones periféricas. En el ámbito general se pueden dar los siguientes indicativos:

- Los árboles peor conformados (fuste cónico, elevada proporción de copa, tableados.. Son los que pueden tener niveles de tensiones menores.
- Los árboles con fibra ondulada suelen ser árboles con tensiones pequeñas, pero el hecho de que no esté ondulada no significa que las tensiones sean altas.

REFERENCIAS

Boyd JD (1950): *Tree growth stress I. Tree growth stress evaluation* Australian Journal of Scientific Research, Series B, Biological Sciences, Vol 3, p.270-293

Yao J (1.979) *Relationships between height and growth stress within and among white ash, water oak, and shagbark hickory*. Wood Science Vol 11 p. 246-251

Gerard (1.995) *Contraintes de croissance, variations internes de densité et module d'élasticité longitudinale, et déformations de sciage chez les eucalyptus de plantation*. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Bordeaux

BIBLIOGRAFIA

Robert R. Archer (1.986): *Growth Stresses and Strains in Trees*, Ed Springer-Verlag

D. G. Arganbright; D.W. Benseid; F.G. Manwiller (1970) *Influence of gelatinous fibers on the Shrinkage of Silver Maple* Wood Science Vol 3 nº2 p. 83-89

R.K. Bamber (1.987): *The origin of growth stresses: A rebuttal*. IAWA Bulletin Vol 8 (1) p. 81-83

P.P. Gillis and C. H. Hsu (1.979): *An Elastic, Plastic Theory of Longitudinal Growth Stresses*. Wood Science and Technologie Vol 13 p.97-115

M. Fournier; P.A.Bordonne; D Guitard; T. Okuyama (1.990): *Growth stress patterns in tree stems*. Wood Science and Technologie Vol 13 p.97-115

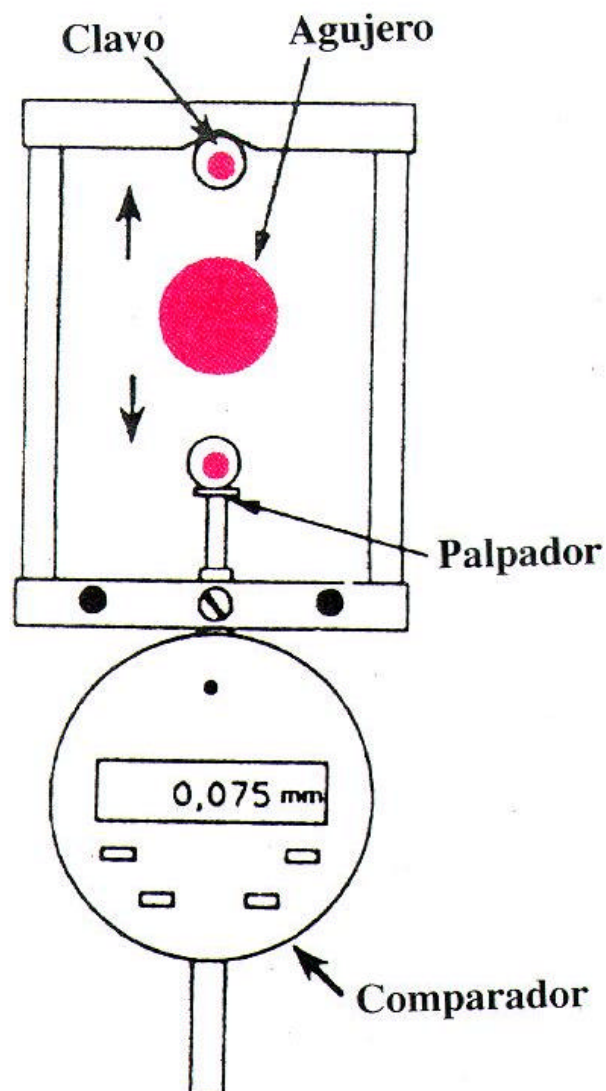
F.S. Malan (1.989): *The wood properties of South African grown Eucalyptus grandis: Some notes on their variation and association*. Wood Southern Africa. Part I: Vol 14 nº5, p. 61-67 Part II: Vol 14 nº6, p. 66-71.

J. Saurat and P. Gueneau (1.976): *Growth Stresses in Beech*. Wood Science and Technologie Vol 10 p.111-123

ANEXO N° 1

DESCRIPCION DEL METODO UTILIZASDO PARA MEDIR LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO

Esquema del extensómetro utilizado



El material utilizado para medir las tensiones de crecimiento es el extensómetro diseñado por Cirad-forêt, formado por dos palpadores, insertados en la madera una profundidad de 10 mm, separados entre sí una distancia de 45 mm, según la dirección de la fibra. Estos palpadores se separan entre sí,

por efectos de la liberación de las tensiones de crecimiento perimetrales al practicar un agujero de 20 mm de diámetro, mediante un taladro, en un punto situado entre medias de los dos palpadores.

El desplazamiento sufrido entre los 2 palpadores es medido por un comparador de precisión 0,001 mm. El valor del desplazamiento depende de las tensiones de crecimiento perimetrales en dirección axial, así como de otros factores entre los que destaca el módulo de elasticidad.

El procedimiento operativo es el siguiente:

- Descortezado del área en donde se va a realizar la medida de las tensiones de crecimiento. Con un machete o un acha, se elimina la corteza del área en donde realizar la medida de las tensiones, dejando la madera al descubierto en alrededor de 30x10 cm, teniendo especial cuidado de no producir ningún golpe o penetración en la madera que pueda servir de elemento de relajación de las tensiones perimetrales del árbol.

Las medidas se realizan en las direcciones norte, sur, este y oeste de la sección del árbol a la altura de entre 1,2 a 1,3 m de la base del árbol.

- Situación de los palpadores y marcado del punto donde realizar el taladro. Para la colocación exacta de los palpadores y marcado del punto donde realizar el taladro, se utiliza un molde, provisto de 2 agujeros por donde introducir los palpadores y un tornillo situados entre ambos, que marca la señal del punto medio en donde realizar posteriormente el taladro de liberación de las tensiones. Por tanto, el procedimiento operativo consiste en disponer el molde sobre la madera descubierta en la operación anterior, introducir los palpadores por los agujeros del molde, ayudándose de un martillo y un punzón. Los palpadores quedarán perfectamente introducidos en la madera cuando al golpear con el martillo, cambia el sonido del golpe, al apoyarse la cabeza de los palpadores en la madera.

Introducidos los palpadores, se acciona el tornillo mediante un destornillador, hasta que deje marca en la madera. Posteriormente se saca el molde con el cuidado de no sacar los marcadores colocados.

- Situación del comparador, a través del apoyo de la estructura en los palpadores clavados en la madera, tal como se indica en la figura.

- Poner en cero el comparador

- Ejecutar el taladro, utilizando una broca salomónica de 20 mm de diámetro, empezando por la marca realizada en operaciones anteriores profundizando hasta que el valor del comparador se estabilice.

- Anotar el resultado.

Si por efecto del viento u otra causa el comparador no se estabiliza, el resultado no se considera válido.

ANEXO N°2

METODO DE MEDIDA UTILIZADO PARA LA EVALUACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS DE LA PARCELA

- Especie: La determinación de las especies de la parcela se ha realizado por métodos visuales.
- N°de árboles por Ha: Los árboles por Ha se han determinado contando los árboles existentes en la parcela y midiendo la superficie que ocupa la parcela, mediante una cinta métrica, extrapolando el resultado a Ha
- Edad de los árboles: Se ha obtenido por preguntas al guarda y a los trabajadores del área.
- Pendiente: Se ha realizado de forma aproximada, evaluando los desmontes de las pistas cercanas, excepto en las parcelas 4, 5 y 6 que se haya determinado mediante clisímetro.
- Orientación: Se ha medido mediante una brújula
- Prácticas selvícolas: SE ha obtenido mediante información a los guardas y a los trabajadores forestales del área
- Altitud: Se ha obtenido mediante la localización de la parcela en un mapa topográfico escala 1:50.000
- Viento: Al igual que la edad y las prácticas selvícolas, se ha determinado por consulta a los guardas y trabajadores forestales
- Litofacies, suelo, temperatura, pluviometría y meses de sequía: Mediante información indicada en "Mapas de Cultivo y Aprovechamiento" de la zona, después de localizar y situar la parcela en los mapas.
- Granulometría: Se ha determinado de forma visual, por apreciación del área, en particular de los desmontes de las pistas, próximos a la parcelas.

ANEXO N°3

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LAS PARCELAS ANALIZADAS

Características de las parcelas analizadas

	EDAD	DENSIDAD PIES/Ha.	ORIENTACION	PENDIENTE	INCIDENCIAS SELVICOLAS	ESPECIES
PEREIRO	17	1.500	NW	5%	Incendio en el año anterior	Eucalipto/pino pinaster
LOURIZAN	40	800	W	15%	-	Diversas
FIGUEIRIDO	25	1.200	NW	5%	-	Eucalipto/pino pinaster
BETANZOS	20	400EUCA 1.000PINO	1,2,24,25,5al15 N 26,27,16al21 W 3,4,22,23,28,29,30 E	10% N 25% W 32% E	Incendio en 1.989	Eucalipto/pino pinaster
A CAZOLGA	24	2000 EUCA 100 Otras	SE	50%	-	Euca/pino/roble/ castaño/ulex
COUBOEIRA	31	1.500	E	10%	-	Eucalipto

	ALTITUD	LITOFAC.	SUELO	GRANUL	VIENTO	TEMPERAT.	PLUVIOMETRIA	MESES DE SEQUIA
PEREIRO	430	Roca plutónica	Inceptisol (Luvisol)	Arenosa	W	12 a 16? C	1.600 a 2.300 mm/año	0 a 2
LOURIZAN	80	Roca plutónica	Inceptisol (luvisol)	Arenosa	SW	12 a 16? C	1.600 a 2.300 mm/año	0 a 2
FIGUEIRIDO (CASTIÑEIRA)	380	Roca plutónica	Inceptisol (Luvisol)	Arenosa	W	12 a 16? C	1.600 a 2.300 mm/año	0 a 2

BETANZOS	350	Fangolitas	Inceptisol (Luvisol)	Arcillosa	W	13? C	850 a 1.150 mm/año	2 a 3
A CAZOLGA	120	Roca plutónica	Entisol (Cambisol)	Arenosa	S-SW	12 a 14? C	1.200 a 1.400 mm/año	1 a 2
COUBOEIRA	100	Fangolitas	Inceptisol (Luvisol)	Limosol	S-SW	12 a 14? C	1.200 a 1.400 mm/año	1 a 2

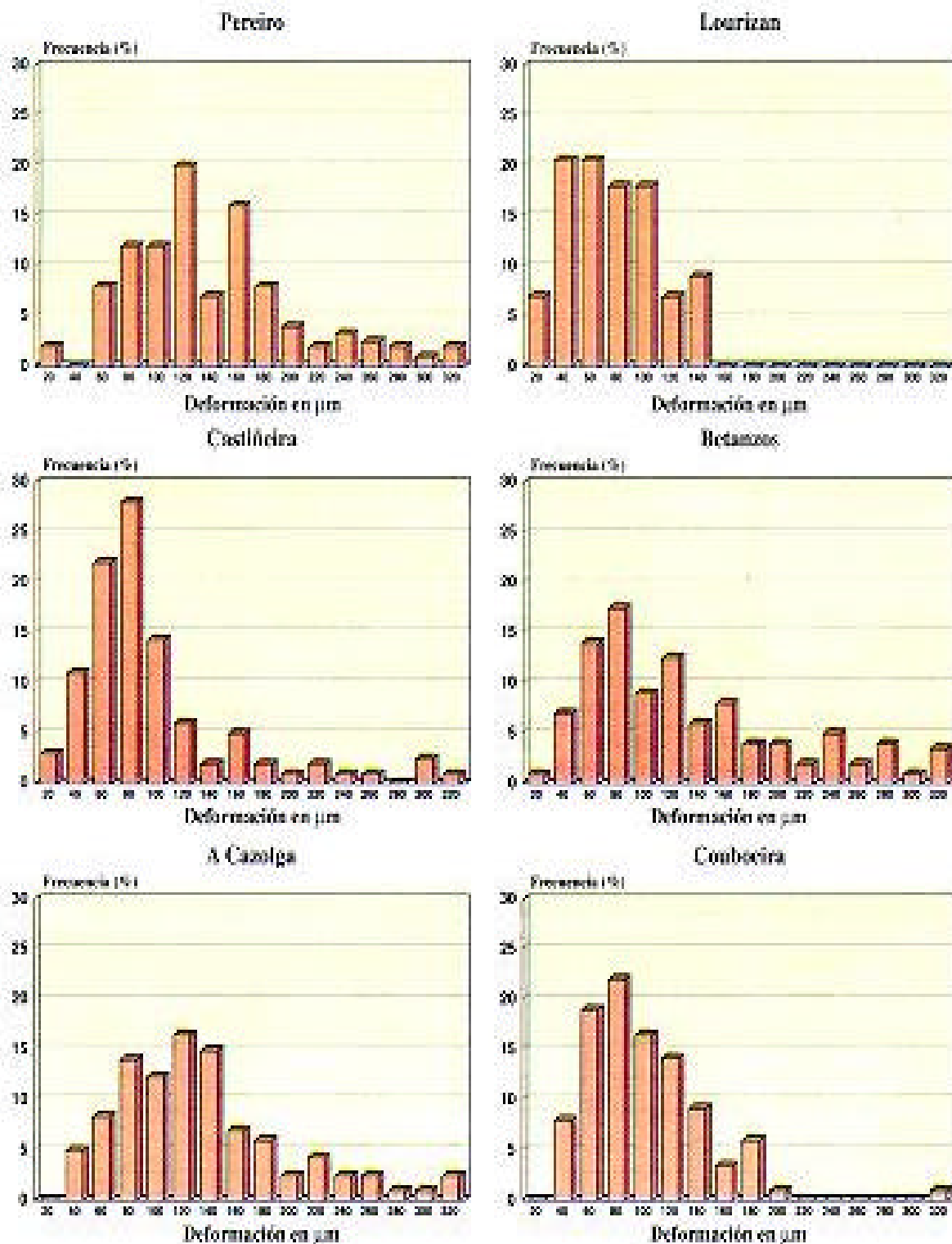
Características medias definidoras de la calidad de estación de cada una de las parcelas

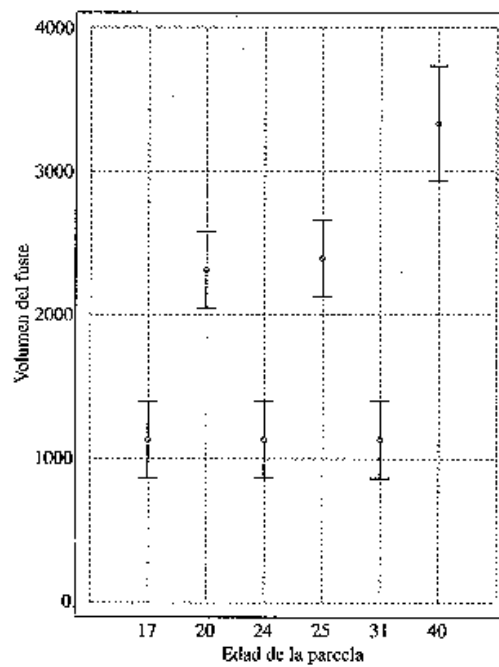
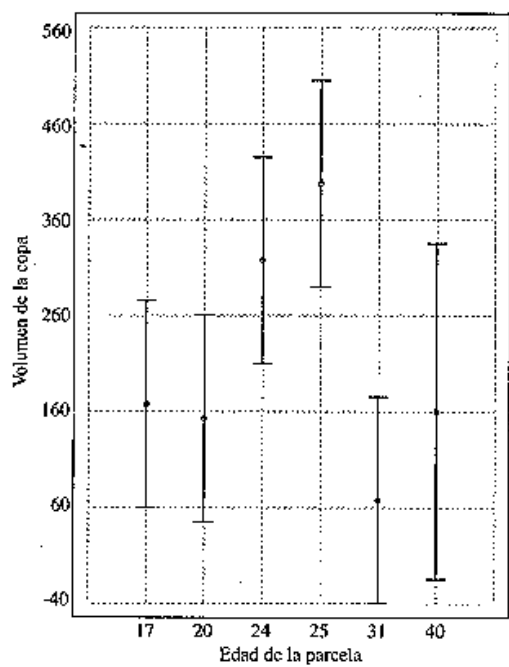
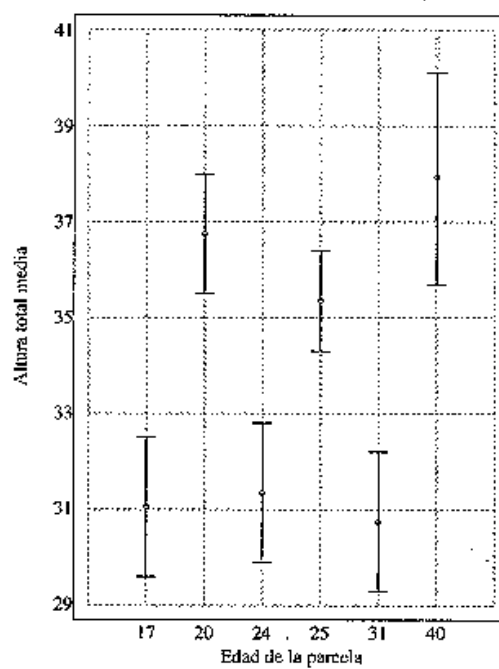
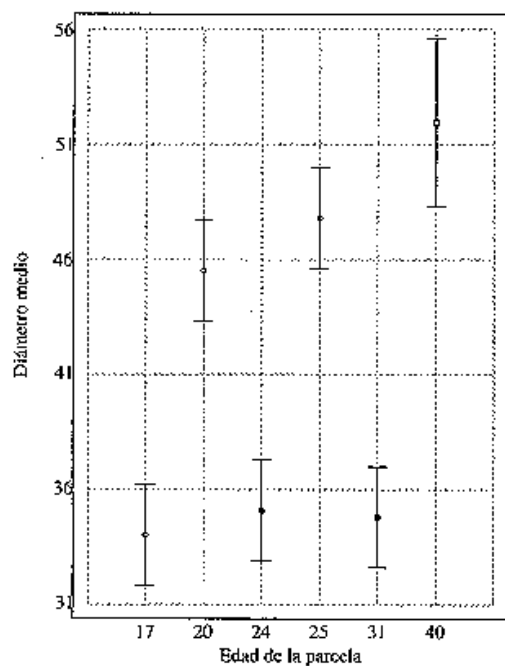
	DIAMETRO cm	EDAD años	ALTURA TOTAL (dominante)	ESBELTEZ (alt/día)	VOLUMEN FUSTE m ³	CRECIMIENTO ANUAL MEDIO (vol./edad)	TENSION DE CRECIMIENTO mm
PEREIRO	33,9	17	31,0	91,3	1,1	0,065	129,0
LOURIZAN	52,0	40	38,0	73,8	3,127	0,078	61,8
FIGUEIRIDO (CASTIÑEIRA)	47,7	25	34,7	72,6	2,446	0,098	84,9
BETANZOS	45,6	20	36,7	80,3	2,373	0,119	125,8
A CAZOLGA	35,0	24	31,3	89,4	1,185	0,049	124,4
COUBOEIRA	34,9	31	30,5	86,8	1,166	0,038	90,5

ANEXO N°4

VALORES CARACTERISTICOS DE LAS DIFERENTES PARCELAS

Frecuencia de distribución de las tensiones en cada parcela



Relaciones entre los parámetros de la parcela:

ANEXO N°5

ANALISIS DE REGRESION Y VARIANZA ENTRE LOS PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LAS PARCELAS DE MUESTREO Y LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO DE LOS ARBOLES

Valores de regresión entre los parámetros del árbol y las tensiones de crecimiento

Parámetro analizado	Coef. independiente	Error Std de Y est.	Coef. depend.	Error Standard	R ²
Edad	182,1	13,33	-3,03	0,72	0,815
Diámetro	199,3	23,76	-2,32	1,38	0,415
Altura total	240	27,38	-4,06	3,79	0,223
Esbeltez	105,3	21,28	2,53	1,19	0,53
Volumen del fuste	142,1	23,82	-0,02	0,012	0,412
Crecimiento anual medio	101,1	31,06	0,022	0,458	0,001

ANEXO N°6

METODO DE MEDIDA UTILIZADO PARA LA EVALUACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS DE LOS ARBOLES

- diámetro: Se ha determinado mediante forcípula
- Altura "H": Se ha medido mediante un relascópio y una cinta métrica
- Contenido de humedad: Se ha medido mediante un higrómetro eléctrico
- Espesor de la corteza: Se ha medido mediante un calibre o pie de rey
- Dureza de la madera: Se ha medido mediante un penetrómetro
- Pendiente de la fibra: Se ha medido mediante una pequeña regla graduada en milímetro, evaluando la separación existente de la fibra con respecto a la vertical tomada con una plomada, en una distancia de 10 cm
- Fibra ondulada: Se ha medido por apreciación visual
- Cambios de orientación del fuste: Se ha obtenido por apreciación visual
- Volumen de la copa "V": Se ha obtenido evaluando por apreciación visual la distancia respecto de la base del árbol, del extremo de la rama mas externa en las posiciones NE; NW; SE y SW y calculando la superficie de proyección de la copa "S" por la formula siguiente:

$$S = p - \frac{Proy_max - Proj_min}{4}$$

también se ha anotado la altura de la primera rama "h", por medio de la observación con relascopio, ayudado de una cinta métrica. El volumen de la copa fue calculada suponiendo que la forma de esta se asemeja a un cono en donde el vertice se sitúa en la primera rama y tiene como base la superficie de proyección de la copa "S" calculada anteriormente

$$V = \frac{1}{2} S(H - h)$$

- Peso "P" de la copa del árbol. En la parcela de Betanzos las copas fueron pesadas, calculado la relación entre el volumen y el peso de la copa, que se supuso constante en todas las demas parcelas. De acuerdo con esto, el peso de las copas se ha evaluado aplicando la siguiente formula:

$$P = 2,3725 \cdot V$$

- Tensiones en la base originada por el peso de la copa y la inclinación del árbol respecto de la

vertical. La inclinación del árbol se evaluó de forma aproximada por apreciación visual. Con este dato, junto con la altura del árbol y el peso de la copa, se calculó la tensión originada en la base del árbol.

ANEXO N°7

ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA RELACION ENTRE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO Y LAS CARACTERISTICAS DE LOS ARBOLES DENTRO DE CADA PARCELA

Parcela (edad)	Tensión de crecimiento media (desviación típica)		Correlaciones significativas existentes (C=constante) variable (coeficiente) (R ² , F-ratio)	
Pereiro (17)	129,40	(46,53)	Diámetro (-4,59) Altura (6,55)	(C=86,47) R ² =0,15 F-ratio=3,18
Betanzos (20)	125,83	(62,01)	Diámetro (-2,63) Tableadura (528,4)	(C=213,47) R ² =0,20 F-ratio=4,68
A Cazolga (24)	124,45	(51,50)	Ninguna	
Figueirido (25)	84,95	(52,87)	Altura (2,59)	(C=-8,25) R ² =0,15 F-ratio=3,82
Couboeira (31)	90,47	(35,21)	Tableadura	(C=91,18) R ² =0,01 F-ratio=1,13
Lourizán (40)	61,77	(31,29)	Tableadura	(C=88,18) R ² =0,26 F-ratio=2,76

ANEXO N°8

ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA RELACION ENTRE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO Y LAS CARACTERISTICAS DE LOS ARBOLES DEL TOTAL DE LA MUESTRA

Tabla n° 1: Valores de regresión entre los parámetros del árbol y las tensiones de crecimiento

Parámetro analizado	Coef. independ.	Error Std de Y est	Coef. depend.	Error standard	R ²
Edad	182,9	50,09	-3,07	0,635	0,128
Diámetro	152,3	52,3	-1,12	0,382	0,051
Tableadura de la sección	112,7	53,53	-0,69	0,748	0,005
Altura total	107,8	53,68	-0,01	0,741	0,000
Nº de reorientaciones	111,6	53,57	-1,99	2,56	0,004
Volúmen del fuste	123,0	52,65	-0,01	0,003	0,037
Volúmen de la copa	111,1	53,56	-0,03	0,036	0,004
Crecimiento medio anual	114,0	53,51	-0,08	0,081	0,006
Esbeltez fuste (Alt/diam)	18,34	50,32	1,04	0,244	0,103
Esbeltez del árbol (Vcopa/Vfuste)	100,4	53,42	-0,108	0,088	0,009